

# 固化土技术在城市道路底基层中的应用

贾为智

[上海城建市政工程(集团)有限公司,上海市 200333]

**摘要:**道路工程建设中,绿色施工已逐渐成为主流趋势。固化土施工技术迎合绿色施工理念,响应建筑领域推进“新材料、新工艺、新技术、新设备”的号召,进一步推进“循环利用+绿色施工”的工程建设模式,能促进行业的快速发展,具有极大的推广空间。通过结合某市快速路新建工程的试验段施工实例,根据制定的城市道路固化土底基层性能控制与设计方法,结合土质情况、施工时的气候、温度等因素,考虑不同固化剂的特点,提出适用于城市道路固化土底基层的施工工艺,并为推广同类施工应用提出了建议,可为固化土技术在道路工程中的应用研究和类似工程施工提供借鉴和参考。

**关键词:**固化土;城市道路;底基层;施工工艺

**中图分类号:** U416.1

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1009-7716(2023)12-0250-04

## 0 引言

国内道路的路面结构设计一般采用较薄沥青面层+半刚性基层的形式。虽然半刚性基层路面结构具有整体强度高、刚度大、建设成本低、取材方便等优点,但也具有较强的干缩变形和温缩变形,且材料具有脆性特征。因此,路面结构易产生开裂病害,最终导致路面结构的整体破坏。此外,道路基层建设中一方面需要消耗大量的水泥、建筑石料等自然资源,会进一步造成生态破坏;另一方面还经常需要对各类不良软弱地基进行处理,造成渣土外运,成为城市建设中的一大痛点。

为解决这些问题,固化土技术提供了一种可能。一方面可以利用现场余土增加土体的强度,另一方面可以减少对水泥、碎石的依赖程度。目前固化土技术已应用在污泥处理、不良地基、道路软基处理、道路基层建设、资源再利用处理等多种领域。

## 1 工程地质概况

以某市快速路新建工程的详勘地质概况为例,其路基范围内的暗浜已采用换填、抛石挤淤等措施进行处理,道路路基已压实稳定,经验满足设计及规范要求。

(1)软土地基。具有含水量高、孔隙比大、强度低、压缩性高等不利特征,对道路路基影响较大。

收稿日期:2023-05-23

作者简介:贾为智(1994—),男,硕士,助理工程师,从事土木工程相关工作。

(2)填土。浅层填土厚度普遍较大,成分复杂。其现状行车道下填土路基已压实具有一定强度,道路两侧填土密实性相对较差,强度较低,容易引起新建路基不均匀沉降。

(3)流砂。场地浅层分布有②<sub>3</sub>层砂质粉土,渗透性好。

(4)暗浜。

## 2 固化土设计

本工程固化土底基层试验段采用20 cm厚现场固化土替代原方案中的15 cm级配碎石+5 cm水泥稳定碎石层(部分厚度),如图1、图2所示。采用环保型固化剂(水剂)、复合型固化剂(粉剂)两种类型的土壤固化剂<sup>[1]</sup>,形成两个试验段进行比较。

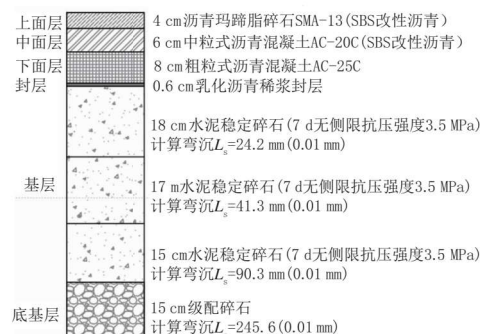


图1 原路面结构层

(1)环保型固化剂。固化剂每方土掺量约为45 mL,施工时按1:(100~200)比例进行兑水稀释掺入,现场拌合用集料采用黏土或亚黏土的现状土(细砂、泥炭、有机泥土不得使用)。

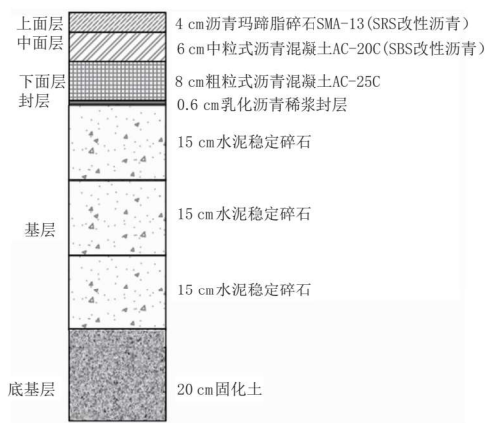


图 2 固化土路面结构层

(2)复合型固化剂。该固化剂由 A、B 双组分组成。其中, A 组分为无机胶凝剂, 主要成分为无机胶凝材料。B 组分为稳定剂与活性剂, 主要成分为复合无机盐、离子化合物等。固化剂每方土掺量约为掺入 A 组分 6%, B 组分掺入 0.12% (稀释比例为 1 : 10), 现场拌合用集料采用现状土 (泥炭、有机泥土不得使用, 最大粒径不超过 10 cm)。

### 3 施工工艺

#### 3.1 施工准备

(1)工序准备。

a. 在施工区域进行高程测量, 标出固化层边缘的设计高度。

b. 根据固化设计厚度, 进行松土准备。

c. 检测原状土中的含水量, 宜符合固化土施工的最佳含水量要求。当不能满足要求时, 采取相应的处理措施。土的含水率过高时, 应进行晾晒。(根据土样检测结果, 最佳含水率在 13% 左右, 现场施工时土样含水率需控制在 15% ~ 20%)。

d. 通过固化区域的长度、宽度、厚度、土壤含水率、预定干密度、土壤固化剂的配合比等参数, 计算各类固化剂的用量。

(2)人员准备。现场施工所需工人 5 人 (主要负责固化剂撒布)。

(3)机械准备。拌合机 (冷再生机) 1 台、单钢轮压路机 1 台、平地机 1 台、洒水车 1 辆、挖机 1 台。

#### 3.2 样桩定位

使用全站仪测量, 确定道路试验段的平面位置, 定好边桩、中桩等样桩, 间隔 10 ~ 20 m 设置一个, 保证适当距离。通过松铺系数, 使用水准仪测量, 确认好松土摊铺的高度。

#### 3.3 松土摊铺

固化土土源取样后送至专业的第三方检测机

构, 检测土源含水率。固化土土源达到施工要求的含水率后, 方可采用 1 台挖掘机进行松土摊铺 (若施工作业面大, 可采用摊铺机)。松铺厚度为 25 cm (松铺系数为 1.25), 松土摊铺的时间为使用土壤固化剂的前一天。松土摊铺过程中, 应将草根等杂物清除。对于超粒径的土块颗粒, 应将其粉碎或清除。摊铺完成后使用平地机初平。

#### 3.4 固化剂撒布

(1)复合型固化土。复合型固化剂由 A、B 双组分组成, 先洒布 A 组分 (固化剂粉料), 在拌合机拌合时加入 B 组分 (稀释液)。撒布固化剂 A 组分需提前用石灰在道路试验段内画出 4 m × 4 m 土工格并均匀放置相应的固化剂粉料。由 2 名工人将固化剂均匀撒布在土工格内, 施工时应注意控制扬尘。

(2)环保型固化土。松土摊铺后, 采用洒水车将兑好的环保型水剂固化剂加入洒水车内进行洒布。洒布时, 要控制洒水车行进速度, 使洒布连续均匀, 确保固化剂全覆盖。

#### 3.5 固化土拌合

采用拌合机将混合料拌合均匀。每次拌合应有重叠和翻透, 不得漏拌, 且拌合后固化土混合料的颜色应一致。施工条件较好, 土质良好区段拌合一遍, 使混合土达到拌合颜色一致。拌合时应略破坏下层的表面, 深度宜为 1 cm, 每层之间不得留有未掺拌的“素土”夹层<sup>[2]</sup>。

复合型固化剂中的 A 组分已提前撒布在土工格内, 其次在洒水车内加入 B 组分, 连管到拌合机。采用拌合机一次拌合, 拌合遍数视拌合均匀度适当增加拌合次数。环保型固化土在固化剂撒布完成后直接拌合即可。

#### 3.6 碾压、成型

拌合完成后, 采用平地机整平。固化类混合料应在最佳含水量时进行碾压压实。当含水量不足时, 应洒水后再进行碾压。采用一台 22 t 压路机压实<sup>[3]</sup>, 大震一遍、小震两遍、静压三遍; 碾压宽度 2 m, 碾压重叠部分为 1/2 轮宽。施工时严格控制压路机的碾压速度, 第一遍和第二遍的碾压速度宜为 1.5 ~ 1.7 km/h, 之后碾压速度为 0 ~ 2.5 km/h。

#### 3.7 养生

复合型固化土需覆盖土工布、洒水养护 7 d。环保型固化土需自然养生 48 h。养生期间限制各类车辆通行<sup>[4]</sup>。

固化土施工流程如图 3 所示。



图 3 固化土施工流程示意图

4 实施效果评价

通过现场实施该试验段，并对两种类型固化土进行室内外性能试验和路面结构监测等多项试验分析。结果证明，土壤固化剂能有效地提高土的强度、刚度、压实性能，使工程性质较差的土壤具备优良的使用性能，并且固化土能有效代替路面水稳底基层的各项参数和指标，满足路面结构层功能性要求。

5 施工过程中遇到的问题

- 5.1 土源含水率较高，易受天气影响，晾晒时间较长
- 固化土试验段施工时处于梅雨季节，导致固化土土源含水率较高。因试验段在新建高架桥下，高架桥遮挡阳光，导致土源晾晒不透，且晾晒时间较长。施工前等待土源达到最佳含水率的时间较长。
- 5.2 路拌法施工存在局限性
- (1)受到固化剂初凝时间约束，在设备组合确定的情况下，每日的最大摊铺面积有限。
- (2)受到天气影响较大，特别是南方沿海地区有台风季、梅雨季等，对工期进度影响很大。土方晾晒需要较长时间和一定的成本，施工安排灵活性不高。
- (3)拌合原材料、撒布粉料时有一定的扬尘污染。
- (4)拌合设备在上海、浙江比较难找，从北方运来，运输成本较高。
- (5)原地拌合质量不如厂拌。
- 5.3 土源质量不可控
- 现场采用城市高架桥梁承台及排水基坑施工剩余土方作为固化土土源。土方主要为粉质黏土，并且掺杂石块等，导致施工时掺拌不均匀。挖出的土源质量参差不齐，含水率不一致，压实度控制困难。
- 5.4 现场道路窨井较多，窨井周边施工质量难以控制

施工区域雨污水井较多，如图 4 所示，且固化土施工前道路窨井均已施工到位，窨井标高高于固化土施工时的路面标高，导致在窨井周边施工机械拌

合土困难，且井周压实质量难以控制。



图 4 施工现场道路窨井示意图

6 对比分析

6.1 固化土工艺分析

针对复合型、环保型两种固化土，从工艺、设备、其他资源等方面的优劣势情况进行工艺分析，相关数据见表 1。

表 1 固化土工艺分析

|    | 复合型固化土                                                                                                                                                           | 环保型固化土                                                                                                                           |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 优势 | 1. 工艺：固化作用持续有效，具有良好的强度、刚度、抗裂性能、水稳性能<br>2. 设备：设备可原地拌合<br>3. 其他：土源可就地取材                                                                                            | 1. 工艺：固化作用持续有效，具有良好的强度、刚度、抗裂性能、水稳性能；初凝时间为 6 h，较复合型较长<br>2. 设备：设备可原地拌合<br>3. 其他：土源可就地取材                                           |
| 劣势 | 1. 工艺：<br>①受到固化剂初凝时间约束，每日的最大摊铺面积有限；<br>②拌合原材料、撒布粉料时有一定的扬尘污染；<br>③施工养护时间较长；<br>④施工受天气影响大；<br>⑤初凝时间为 4 h，较环保型时间短<br>2. 设备：设备较大，井周不便施工<br>3. 其他：现场原地拌合质量不如采用集中拌合后摊铺 | 1. 工艺：<br>①拌合原材料、撒布粉料时有一定的扬尘污染；<br>②施工养护时间较长；<br>③施工受天气影响大<br>2. 设备：拌合机需与水剂洒布车前后同时施工，施工速度较慢，对井周不便施工<br>3. 其他：现场原地拌合质量不如采用集中拌合后摊铺 |

6.2 固化土工效分析

针对复合型、环保型两种固化土，从施工时间、养生时间等方面进行工效分析，相关数据见表 2。

表 2 固化土工效分析

| 序号 | 名称   | 复合型固化土               | 环保型固化土               |
|----|------|----------------------|----------------------|
| 1  | 施工时间 | 从撒布固结剂开始到碾压结束在 4 h 内 | 从撒布固结剂开始到碾压结束在 6 h 内 |
| 2  | 养生时间 | 覆盖洒水养生 7 d           | 自然养生 2 d             |

综上所述,两种固化土均有良好的结构性能,土源均可就地取材,均可在现场进行拌合施工,二者施工时间相近,但环保型固化土所需养生时间相对较短,因此更具优势。

7 建 议

7.1 土源含水率控制

(1)在雨水较少、地下水位较低的春、秋季节进行路基处理可节省较多的费用。当挖方路基土方含水量较大时,为降低土体含水率,一般采用土方翻晒处理,对底层采用原地翻晒,其余部分开挖后进行分层翻晒,大面积施工时可采用铧犁翻晒。当土的含水量接近最佳含水量时,再进行固化土施工。

(2)土源含水率是固化土施工的重要控制因素,将直接影响固化土的施工质量。建议开展土方含水率的简便测定方法及设备研发,便于施工过程中质量控制。

7.2 土源质量控制

在利用现场结构施工的余土时,选用上层较好的土方专门留置作为固化土土源,并对掺杂的石块进行筛除,保证土源质量。

7.3 路拌法施工控制

(1)由于固化土施工位于城区,若采用路拌法施工会产生一定的扬尘,可能会被相关行政部门制止。因此,建议采用移动式拌合机械在后场集中拌合,然

后运输至现场进行摊铺。

(2)固化土拌合机械对于窨井较多的道路施工段较为困难,且质量难以保证。若采用现场拌合工艺,建议引进或研发操作灵活、施工速度快的小型设备。

8 结 语

固化土施工相较于常规施工更加绿色环保、便捷,不但可以就地取材,还能直接在现场进行拌合施工。本次固化土在道路底基层中的应用,可大大减少底基层对水泥、碎石的依赖,节约不可再生的自然资源。

随着城市发展,绿色施工已成为工程建设中面临的迫切需求,而固化土这种“循环利用+绿色施工”的工程建设模式必然成为主流趋势。通过本工程实际应用可知,固化土施工有利于促进绿色施工技术的推广和使用,对未来的绿色工程发展方向提供宝贵的实践经验,具有十分重要的实践价值。

参考文献:

[1] 季节,梁桦,韩秉烨,等.中国道路工程中土壤固化技术综述[J].交通运输工程学报,2023,23(2):47-66.  
[2] 杨科学.土壤固化在城市道路淤泥质土软弱地基处理中的应用[J].中国建筑装饰装修,2022(8):161-163.  
[3] 欧海湖,谭树成,杨仕波,等.基于原土固化技术的固化土基层现场试验研究[J].山西建筑,2022,48(8):81-84.  
[4] 徐中,徐迪.浅议道路施工中固化土路面施工技术控制措施[J].中国高新技术企业,2015(30):94-95.

(上接第 249 页)

[3] 李建望.钢支撑伺服系统在某地铁基坑中的运用及其变形控制效果分析[J].施工技术,2018,47(S4):1505-1507.  
[4] 孙九春,白廷辉.地铁基坑钢支撑轴力伺服系统设置方式研究[J].地下空间与工程学报,2019,15(S1):195-204.  
[5] 冯非凡,魏纲,朱家烜,等.伺服钢支撑在基坑开挖中的应用综述[J].低温建筑技术,2021,43(9):103-107,122.  
[6] 刘俊超.伺服钢支撑对杭州软土地层地铁深基坑变形的影响研究[J].路基工程,202(4):173-177.  
[7] 龙华东,周辉,涂洪亮,等.钢支撑伺服系统在富水软弱地层深基坑施工中的应用[J].铁道建筑,2022,62(2):137-140.  
[8] 苏小文,李寒冰,黄浩.钢支撑伺服系统在软土深基坑中的应用与研究[J].测绘与空间地理信息,2022,45(8):174-175.